



## ESTUDIO COMPARATIVO DE PRODUCCIÓN DE BIOETANOL A TRAVÉS DE LA FERMENTACIÓN EN BATCH USANDO SACCHAROMYCES CEREVISIAE, ENTRE MANGIFERA INDICA, VITIS VINIFERA Y BIOMASA HIDROLIZADA DE LA EICHHORNIA CRASSIPES.

Jennifer Y. Balcazar Alarcón

*Fundación Universitaria los Libertadores, Facultad de Ingeniería, Bogotá, Colombia*

---

### Resumen

Este artículo de investigación plantea un análisis comparativo entre tres alternativas para la producción del Bioetanol mediante un sistema diseñado para la fermentación alcohólica en Batch con la levadura de cerveza (*Saccharomyces Cerevisiae*) frente a la uva común (*Vitis vinífera*), la cáscara de mango (*mangifera indica*) y la biomasa hidrolizada de la planta Lirio Acuático o buchón de agua (*Eichhornia Crassipes*); a su vez estas fueron sometidas a distintos procesos en los laboratorios de la facultad de ingeniería de la Fundación Universitaria Los Libertadores, donde se utilizaron diferentes equipos y herramientas para el control de la aireación, pH, temperatura, cantidad de glucosa y la concentración de producto. Luego del análisis estructural se identificó cuál de los tres es más efectivo en la obtención del Bioetanol teniendo en cuenta como preámbulo los resultados obtenidos de las investigaciones realizadas.

#### *Palabras Clave:*

*Saccharomyce Cerevisiae*, *Vitis vinífera* (uva común), *mangifera indica* (la cáscara de mango), *Eichhornia Crassipes* (buchón de agua), fermentación en batch.

---

### 1. Introducción

Con el propósito de contribuir en la preservación y el cuidado del medio ambiente se han buscado alternativas para reducir la dependencia de los combustibles fósiles, y como consecuencia de dicha necesidad se han transformado productos agrícolas o materiales orgánicos convirtiéndolos en Biocombustible; del cual sobresale “el etanol” como el más eficaz para disminuir el nivel de contaminación por emisiones de gases que provocan el efecto invernadero. El alcohol etílico o etanol es un producto químico obtenido a partir de la fermentación de los azúcares que se encuentran en la materia orgánica de las plantas,

tales como cereales, remolacha, caña de azúcar, sorgo o biomasa. Estos azúcares están combinados en forma de sacarosa, almidón, hemicelulosa y celulosa [1]. Se considera que el etanol es un combustible de alto desempeño en los motores de combustión interna, esto se debe a su oxigenación en la gasolina que mejora el octanaje en ellas brindándole mayor rendimiento, la gasolina con el etanol (Gasohol oalconafta) y el etanol puro en los motores a diferencia de la gasolina pura logra producir menos monóxido de carbono (CO), óxidos de azufre (SOx), hidrocarburos y otros compuestos contaminantes. [2]

Como referencia inicial se le acredita a Henry Ford su esfuerzo por tratar de adaptar el etanol como combustible en el diseño de su primer auto modelo T en

1908. Años más tardes con la crisis del petróleo se estableció una mezcla de gasolina y etanol (Gasohol oalconafta), la cual demostró que el biocombustible era otra alternativa como fuente de energía renovable al alza del petróleo y así mismo al agotamiento de los recursos no renovables. Brasil fue uno de los países más afectados con el petróleo en 1975, por eso desarrolló el proyecto proalcohol, cuya finalidad era la sustitución total de los combustibles de origen fósil por medio del etanol proveniente de la caña de azúcar [3]. Actualmente Brasil es uno de los países que más produce bioetanol.

Debido a los grandes beneficios que conlleva la utilización del etanol en los campos económico, social, ambiental y político otros países han implementado esta alternativa proveniente de diferentes materias primas, como Estados Unidos que lo produce a partir del maíz; Rusia, centro y norte de Europa, de la remolacha y en Colombia de la caña de azúcar y la yuca [4]. Es importante aclarar que existen otras alternativas fuera de las anteriores para la obtención de bioetanol, el cual se evidencian en este artículo. Con la finalidad de conservar la producción del bioetanol a futuro es necesario ampliar las opciones de materias primas y al mismo tiempo aprovechar al máximo los residuos fermentables. Por tal motivo, en este artículo se expone a continuación tres posibilidades que ayudarán a la obtención del bioetanol: la uva común (*Vitis vinífera*), la cáscara de mango (*Mangifera indica*) y la biomasa hidrolizada de la planta Lirio Acuático o buchón de agua (*Eichhornia Crassipes*).

## 2. Marco teórico

### 2.1. La uva común (*Vitis vinífera*)

Se cultiva en clima cálido o templado, es muy difundida en Colombia y en países de la región andina; su origen probable es de Asia occidental. Es un fruto muy jugoso, que puede presentarse como uva de color verde o morado. Sus azúcares fermentables pueden ser metabolizados por la levadura (*Saccharomyces cerevisiae*) siendo esta usual en los procesos de fabricación de bebidas alcohólicas como el aguardiente, los llamados licores, y en la fortificación alcohólica de vino; además para la producción

de biocombustibles tales como el bioetanol y biogás. [5,6]

### 2.2. El Mango (*Mangifera indica* L)

El mango pertenece a la familia Anacardiácea en la especie (*Mangifera indica* L). Es originario del Noroeste de la India, de la Región Indo-Birmanica y las montañas Chittagong en Bangladesh [7]. Esta fruta es muy conocida debido a su particular sabor, aroma y nutrientes como ácidos, ácidos grasos, proteínas, aminoácidos, azúcares, etc. El mango está compuesto por cuarto parte: semilla, pulpa y cascara. [8]. Actualmente en muchos lugares a nivel mundial se industrializa el mango como materia prima para generar otros productos, pero sus residuos como la cascara han sido un gran inconveniente.

### 2.3. La cascara de mango

Debido al alto contenido de la cascara de mango de polifenoles, carotenoides, enzimas, vitamina E y vitamina C, que tienen propiedades funcionales y antioxidantes predominantes, además de ser una fuente de fibra dietética, celulosa, hemicelulosa, lípidos, proteínas, enzimas y pectina; ha sido considerada como parte de la materia prima para la producción de otros productos como el biogás. [9]

### 2.4. La *Eichhornia Crassipes* o lirio acuático

Es una planta libre flotadora miembro de la familia de las Pontederiaceae, sus medidas pueden variar entre 50 cm a 1 metro de altura y su longitud puede llegar a ser de hasta 30 cm; este arbusto ocupa un lugar sobresaliente entre los ecosistemas de hidrófitas de agua dulce de las regiones tropicales y subtropicales del mundo. Debido a su rápido crecimiento y reproducción es considerada como una maleza ya que altera los hábitats florales y acuáticos generando inconvenientes fluviales, además de impedir el ingreso de luz al fondo de los ecosistemas acuáticos [10].

### 2.5. *Saccharomyces Cerevisiae*

Es una levadura heterótrofa que obtiene la energía a partir de la glucosa logrando una alta capacidad de fermentación y hace parte del proceso de la producción del alcohol [11]. Esta levadura puede fermentar

la glucosa a etanol, se produce de diferentes maneras en las tres técnicas de cultivo: discontinuo (batch), semicontinuo (fedbatch) y continuo (chemostat). [12]

## 2.6. Levadura

Todas las levaduras son hongos unicelulares que metabolizan azúcares como la glucosa, fructosa, y manosa, pero algunas son capaces de hacerlo en condiciones anaeróbicas, con la producción de alcohol y anhídrido carbónico, en el proceso conocido como fermentación. [12]

## 2.7. Fermentación

Es un proceso metabólico de las levaduras y de varias bacterias que transforman compuesto químicos orgánicos como los azúcares, en otras sustancias orgánicas más simples como etanol, ácido láctico y ácido butírico. [13]

## 2.8. Hidrólisis alcalina

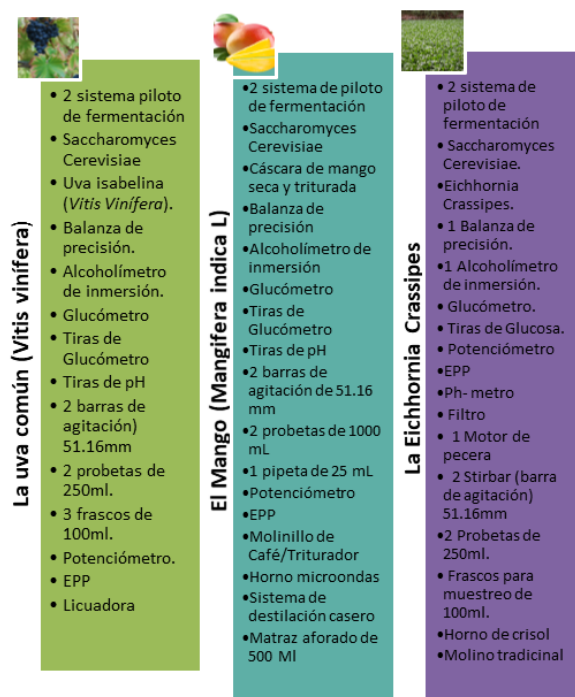
Es el proceso capaz de separar tanto la hemicelulosa como la lignina con ayuda de reactivos como hidróxido de sodio (NaOH), amoníaco (NH<sub>3</sub>), Óxido de calcio (CaO) e hidróxido de calcio (Ca(OH)<sub>2</sub>) sin generar daños a los demás componentes. Este proceso no requiere de temperaturas altas pero si de tiempo de prolongación para reaccionar. [14] De este modo hace más accesible las enzimas.

## 2.9. Hidrólisis ácida

Es el proceso mediante el cual se transforma los polisacáridos de la biomasa lignocelulosa en monómeros con ayuda de catalizadores como ácido fosfórico (H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>), ácido sulfúrico (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) y ácido clorhídrico (HCl) de este modo puede resultar una mejora en la obtención de los azúcares fermentables. [14]

## 3. Materiales

Figura 1: Comparación de los materiales entre materiales de la uva común (*Vitis vinifera*) (Hurtado Rodríguez Jiménez Sabi, 2018), cáscara de Mango (*Mangifera indica* L) (Marín Carvajal, 2018), la biomasa hidrolizada de la *Eichhornia Crassipes* o lirio acuático (Jimenez Fonseca, 2018)

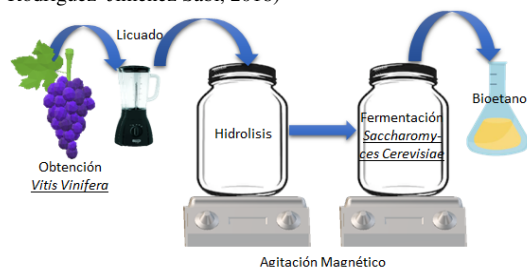


Fuente: Autor

## 4. Metodología

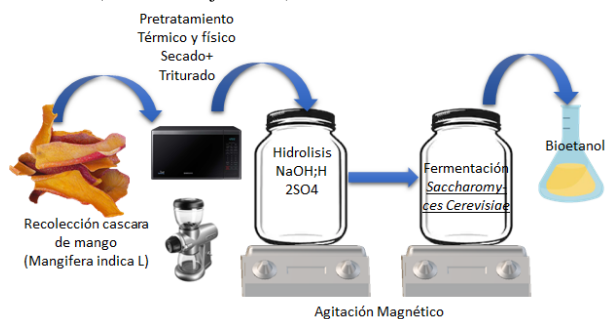
Tomando como preámbulo las tres alternativas estudiadas para la obtención del bioetanol mediante el sistema piloto de fermentación desarrollado por Cuchimaque en el 2018 en la Fundación universitaria Los Libertadores, se representa los siguientes diagramas de procesos realizados en cada escala de investigación, con el fin de hacer su respectiva comparación.

Figura 2: Proceso de la uva común (*Vitis vinifera*) para la obtención (Hurtado Rodríguez Jiménez Sabi, 2018)



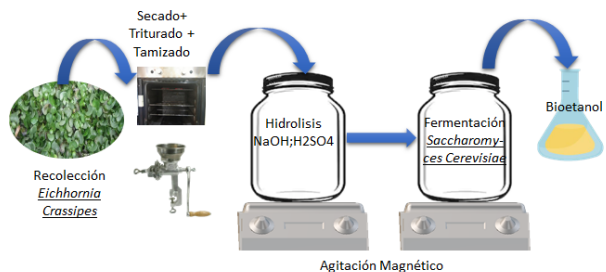
Fuente: Autor

Figura 3: Proceso de la cáscara Mango (*Mangifera indica* L) para la obtención del Bioetanol (Marín Carvajal, 2018)



Fuente: Autor

Figura 4: Proceso para la obtención del bioetanol a partir de la biomasa hidrolizada de la *Eichhornia Crassipes* o lirio acuático (Jimenez Fonseca, 2018)

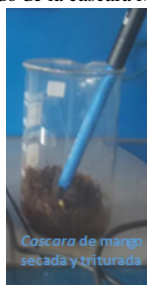


Fuente: Autor

#### 4.1. Comparativo del pretratamiento entre la uva (*vitis vinífera*), el mango (*mangifera indica* l) y la *eichhornia crassipes* o lirio acuático

Para esta fase del proceso el mango y la *Eichhornia Crassipes* fueron sometidos a secado y posteriormente a triturados a diferencia de la uva que solo fue licuada para iniciar la siguiente fase.

Figura 5: Secado y triturado de la cáscara Mango (*Mangifera indica* L)



Fuente: Tatiana Andrea Marín Carvajal

Figura 6: Secado y triturado de la *Eichhornia Crassipes* o lirio acuático



Fuente: Andrés Leonardo Jiménez Fonseca.

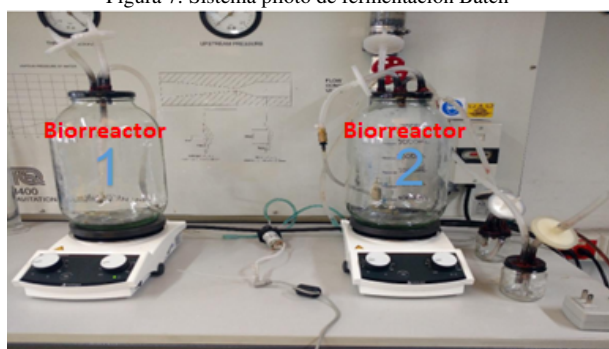
#### 4.2. Comparación del proceso de hidrólisis entre la uva (*vitis vinífera*), el mango (*mangifera indica* l) y la *eichhornia crassipes* o lirio acuático

Debido a que la “uva (*Vitis Vinífera*)” (Hurtado Rodríguez Jiménez Sabi, 2018) tiene un porcentaje alto en azúcar no necesita de una reacción química que requiera de otras sustancias, por lo tanto solo fue sometida a licuado convencional como se había mencionado anteriormente y a proceso físico de lisis en el biorreactor 1 a temperatura y agitación constante de 30C y 120 RPM durante una hora, a diferencia de “la cáscara del mango (*Mangifera indica* L)” (Marín Carvajal, 2018) que fue disuelta con agua destilada para el proceso de hidrólisis alcalina, en el cual se hizo reaccionar con soda cáustica (NaOH) a una temperatura de 50C durante 90 minutos con agitación constante de 125 RPM en el biorreactor 1 .El mismo procedimiento se realizó con la muestra de “*Eichhornia Crassipes* ” (Jimenez Fonseca, 2018) pero a temperatura ambiente de 22.9 C y agitación de 150 RPM y antes de agregarle hidrólisis ácida se lava el mosto con agua de grifo para bajar el PH . Este proceso de hidrólisis alcalina, se realiza con el fin de hacer más accesible las enzimas eliminando compuestos inhibidores de la fermentación y removiendo la lignina.

Al Finalizar la hidrólisis alcalina con la muestra o mosto de cáscara de mango, se realiza la hidrólisis ácida de disolución de ácido sulfúrico (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>), preparado previamente en una relación con la cantidad de la muestra o mosto. Se hace reaccionar a una temperatura 50 C, en constante agitación a 200 RPM durante 24 horas, logrando de esta manera neutralizar el PH. Para la *Eichhornia Crassipes* se realizó el mismo proceso pero a temperatura ambiente y 250 RPM de agitación durante un tiempo de 6 horas. Esta fase del proceso se inicia en el biorreactor 1.

En la tabla anterior se puede evidencia los resulta-

Figura 7: Sistema piloto de fermentación Batch



Fuente: Sistema desarrollado por Cuchimaque, 2018 en la Fundación Universitaria Los Libertadores.

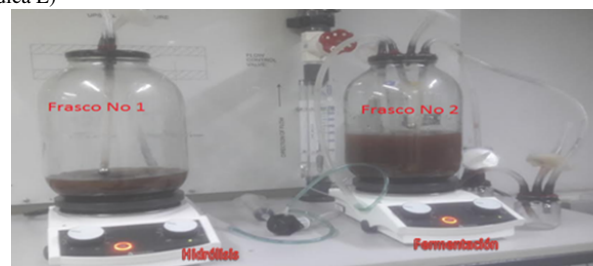
El proceso de hidrólisis se hace con el objetivo de liberar los azúcares que se pueden fermentar para ser metabolizados por levaduras en este caso la *Saccharomyces cerevisiae*.

#### 4.3. Comparativo entre la uva (*Vitis vinífera*), el mango (*Mangifera indica* L) y la *Eichhornia crassipes* o lirio acuático a partir del proceso de fermentación.

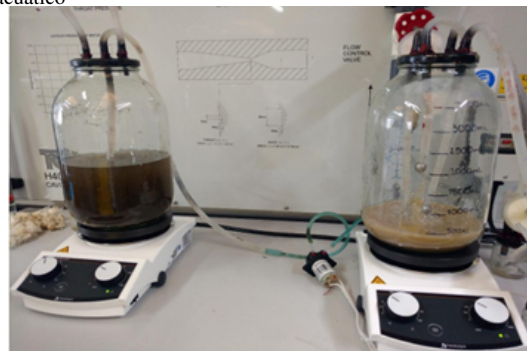
Después del proceso de hidrólisis se da inicio a la fermentación Batch, en el cual para cada estudio realizado se agregaron 7 gr de inóculo de la levadura (*Saccharomyces Cerevisiae*) en el biorreactor 2. Este sistema de fermentación inicia cuando el biorreactor 1 transporta el hidrolizado hacia el biorreactor 2, en el cual contiene la levadura (*Saccharomyces Cerevisiae*). Posteriormente se tomaron muestras para realizar las mediciones de glucosa y % de alcohol a una temperatura y agitación constante.

Figura 8: Proceso de fermentación alcohólica de la uva (*Vitis Vinífera*)

Fuente: Lucy Jullieth Hurtado Rodríguez, Luis Antonio Jiménez Sabi, 2018. Fundación Universitaria Los Libertadores

Figura 9: Proceso de fermentación alcohólica de la cáscara Mango (*Mangifera indica* L)

Fuente: Tatiana Andrea Marín Carvajal, 2018. Fundación Universitaria Los Libertadores

Figura 10: Proceso de fermentación alcohólica de la de la *Eichhornia Crassipes* o lirio acuático

Fuente: Andrés Leonardo Jimenez Fonseca, 2018. Fundación Universitaria Los Libertadores

## 5. Resultados

Tabla 1: Medición de la glucosa y alcohol de la uva (*Vitis Vinífera*), la cáscara de Mango (*Mangifera indica* L) y la *Eichhornia Crassipes* o lirio acuático)

Tiempo (horas)	UVA		MANGO		EICHHORNIA CRASSIPES	
	Glucosa (mg/dl)	Alcohol%	Glucosa (mg/dl)	Alcohol%	Glucosa (mg/dl)	Alcohol%
0	320	0	198,8	0	125	0
1	-	-	-	-	36,2	1
2	282	1,8	159,6	2,1	-	-
5	244	3,6	98	4,2	-	-
6	225	4,5	77	4,9	E-2	1
7	189	5,4	60,2	5,4	E-2	1
8	164	6,3	21	5,32	E-2	1

Fuente: Autor



dos de las mediciones realizadas para cada alternativa, en la cual se visualiza que entre más tiempo (hora) la glucosa (mg/dl) disminuye y en relación a ella el % de alcohol aumenta. Para la “*Eichhornia Crassipes*” (Jimenez Fonseca, 2018) el % de alcohol después de 6 horas se mantiene en (1), y de las tres alternativas “la uva (*Vitis Vinífera*)”, (Hurtado Rodríguez Jiménez Sabi, 2018) es la que muestra mayor concentrado, es decir que a diferencia de las otras esta sobresale en el nivel de % de alcohol.

## 6. Conclusiones

1. De acuerdo al proceso, “la uva (*Vitis Vinífera*)” (Hurtado Rodríguez Jiménez Sabi, 2018) resulta ser la más eficiente para la obtención del bioetanol, ya que a diferencias de “la cascara de mango (*Mangifera indica* L)” (Marín Carvajal, 2018) y “*Eichhornia Crassipes*” (Jimenez Fonseca, 2018), la uva no requiere de otras sustancias químicas para liberar sus azúcares y eliminar compuestos inhibidores que no permitan la fermentación con la levadura *Saccharomyces Cerevisiae*.
2. A medida que aumenta las horas la glucosa va disminuyendo en las tres alternativas que se visualizan en la tabla anterior, pero sin embargo desde el inicio del proceso “la uva (*Vitis Vinífera*)” (Hurtado Rodríguez Jiménez Sabi, 2018) demuestra tener más glucosa y al finalizar es la que obtiene mayor % de ETANOL a diferencia de las demás.
3. El sistema desarrollado por Cuchimaque en el 2018 en la Fundación Universitaria Los Libertadores fue óptima para cada uno de los estudios realizados en los laboratorios, ya que cumplió con los objetivos propuesto en el desarrollo de las investigaciones.
4. Para la determinación de los grados de pendiente su utilizó Corel Draw 2014.
5. Respecto a la viabilidad en la obtención de la materia prima para la producción del bioetanol, “la cascara de mango (*Mangifera indica* L)” (Marín Carvajal, 2018) y “*Eichhornia Crassipes*” (Jimenez Fonseca, 2018) son las más adecuadas, ya que por un lado tenemos un desecho orgánico que sale en cantidades debido a que el mango es una fruta muy consumida en diferen-

tes formas a nivel nacional. Por lo tanto su adquisición para la elaboración del bioetanol no tendría un mayor costo si no un aporte positivo para el medio ambiente. Por otro lado tenemos la *Eichhornia Crassipes* que es una planta flotadora, conocida por ser una maleza para los ecosistemas acuáticos debido a su rápido crecimiento y reproducción como se mencionó anteriormente en su definición, por ende obtenerla al igual que la cascara de mango no generaría un costo alto si no una ayuda para el medio ambiente.

## 7. Referencias

- [1] Orozco, P., Martinez, K. (2018). Aplicaciones de los carbohidratos en el ambiente.
- [2] Trumper, S., Cabanillas, E. (s.f.). Ambiente ecologico. Obtenido de Alconafta ¿ Un combustible Alternativo?: [http://www.ambiente-ecologico.com/revist53 /alnaft53.htm](http://www.ambiente-ecologico.com/revist53/alnaft53.htm)
- [3] CGEE, B. (2008). Bioetanol de Caña de Azúcar Energía para el Desarrollo Sostenible. Rio de Janeiro: BNDES.
- [4] Anaya Ortega, J. E., Jimenez Galván, I. (2014). Elementos de sostenibilidad para la producción y uso del etanol como combustible. Cartagena de India : Universidad Tecnológica de Bolívar.
- [5] Mojica Gómez, J., Pérez Mora, W. (2019). Aprovechamiento de residuos agroindustriales de la industria vinicola del Valle de Sáchica. Bogotá, D.C : Servicio Nacional de Aprendizaje-SENA.
- [6] Suárez Moreno, D. X. (2003). Guía de procesos para la elaboración de néctares, mermelada , uvas pasas y vinos. Bogotá: CAB.
- [7] Gutiérrez, S. E. (2009). Obtención de bioetanol a partir del mango criollo del Istmo de Tehuantepec. Santo Domingo: Universidad del Istmo.
- [8] Correa M, C. A. (s.f.). Riqueza química del mango. Revista Universidad EAFIT, 83.
- [9] Guadalupe Morales, M., Fernández Flores, O., Pérez Martínez, J., Medina Rendon, A., Virgen Navarro, L., García Fajardo, J., Arriola Guevara, E.

(s.f.). Nuevos productos a partir de residuos de mango. Obtenido de Ciatej.mx:

<https://ciatej.repositorioinstitucional.mx/>

[10] Miranda, M. G., Lot Helgueras, A. (1999). El lirio acuático, ¿una planta nativa de México? Cultura Científica, Universidad Nacional Autónoma de México.

[11] Suárez Machín, C. (2016). Levadura *Saccharomyces cerevisiae* y la producción de alcohol. ResearchGate.

[12] De Martín Barry, A. M. (2005). Control del metabolismo de *Saccharomyces cerevisiae* en la síntesis de clutation. Granada: Universidad de Granada.

[13] Puerta Quintero, G. I. (s.f.). Fundamentos del proceso de fermentación en el beneficio del café. Avances técnicos cenicafé, 12.

[14] Morales de la Rosa, S. (2015). Hidrolisis ácida de celulosa y biomasa lignocelulósica asistida con líquido iónicos. Madrid: Universidad Autónoma de Madrid.

[15] Marín Carvajal, T. A. (2018). Producción de biotanol a través de la fermentación en batch de la cáscara de mango (*Mangifera indica*) usando como inóculo *Saccharomyces cerevisiae*. Bogotá: Fundación Universitaria Los Libertadores.

[16] Jiménez Fonseca, A. L. (2018). Proceso de producción de bioetanol, a partir de la biomasa hidrolizada de la *Eichhornia crassipes* con la levadura (*Saccharomyces cerevisiae*). Bogotá: Fundación Universitaria Los Libertadores.

[17] Hurtado Rodríguez, L. J., Jiménez Sabi, A. (2018). Proceso de fermentación alcohólica a partir de la uva común (*Vitis*). Proceso de producción de bioetanol, a partir de la biomasa hidrolizada de la *Eichhornia crassipes* con la levadura (*Saccharomyces cerevisiae*). Bogotá: Fundación Universitaria Los Libertadores.

[18] Cuchimaque Bolívar, Y. A. (2018). Diseño y optimización de un sistema piloto de fermentación de Batch para la producción de Bioetanol.